

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-077434

(43)Date of publication of application : 23.03.2001

(51)Int.Cl.

H01L 39/04

F25D 3/10

H01F 6/00

H01F 6/04

(21)Application number : 11-247682

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 01.09.1999

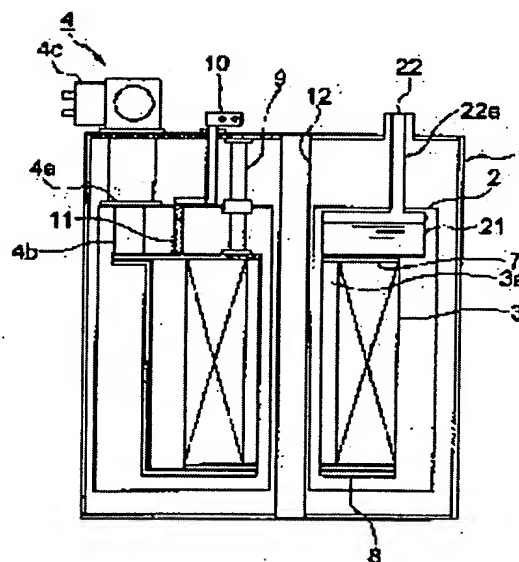
(72)Inventor : OHARA AKINORI

(54) SUPERCONDUCTING MAGNET

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To shorten the time until a superconducting coil is cooled to a prescribed temperature by a method where a helium tank provided with a gas exhaust vent, which is used when liquid helium in the interior of the tank is vaporized, is provided so that the outer surface of the tank and the coil conducts heat-exchange with each other by a solid heat transfer.

SOLUTION: A helium tank 21 for housing a liquid helium is provided between a heat radiation shielding chamber 2 defined by a heat radiation shielding plate and an upper heat transfer plate 7. The plate 7 is provided, in such a way as to make a starting heat contact with the bottom of this tank 21 and a superconducting coil 3 wound on a coil spool 3a, so that the part between the bottom of this tank 21 and the coil 3 conducts solid heat transfer. Moreover, a gas exhaust vent 22 is provided in the upper part of the tank 21 via a conduit 22a. According to this constitution, since the coil 3 results in being cooled also by a heat exchange of the coil 3 with the low-temperature tank 21, the time from the start of the cooling of the coil 3 to reach the prescribed low temperature of the coil 3 can be shortened, in comparison with the case where a cooling heat source is only a refrigerator 4 for a cryogenic temperature.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision
of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's
decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(11)特許出願公開番号

特開2001-77434

(P2001-77434A)

(43)公開日 平成13年3月23日(2001.3.23)

(51)Int.Cl. ⁷		識別記号	F I	データベース(参考)	
H 0 1 L	39/04	Z A A	H 0 1 L 39/04	Z A A	3 L 0 4 4
F 2 5 D	3/10		F 2 5 D 3/10	E	4 M 1 1 4
H 0 1 F	6/00	Z A A	H 0 1 F 7/22	Z A A F	
	6/04	Z A A		Z A A G	

審査請求 未請求 請求項の数 4 O.L (全 8 頁)

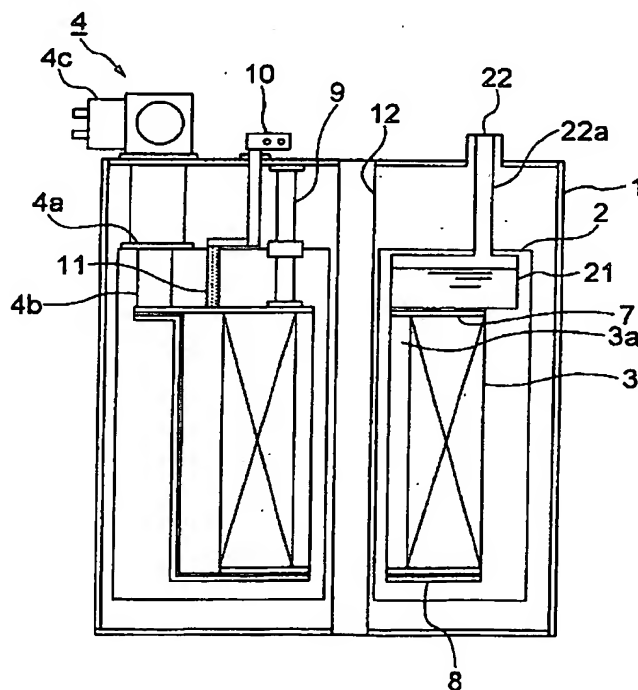
(21)出願番号	特願平11-247682	(71)出願人	000006013 三菱電機株式会社 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号
(22)出願日	平成11年9月1日(1999.9.1)	(72)発明者	尾原 昭徳 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三 菱電機株式会社内
		(74)代理人	100057874 弁理士 曾我 道照 (外6名)
		Fターム(参考)	3L044 AA04 BA07 CA16 DB03 DD06 EA04 KA04 4M114 AA14 AA17 AA25 AA28 AA31 CC03 CC05 CC11 CC16 DA07 DA12 DB02

(54) 【発明の名称】 超伝導磁石装置

(57) 【要約】

【課題】 超伝導コイルが所定温度に冷却されるまでの時間を短縮して、無駄がなく、運転コストを低減した超伝導磁石装置を提供すること

【解決手段】 超伝導コイルを極低温用冷凍機により冷却するとともに、ガス放出口を備えたヘリウムタンクを収納し、液体ヘリウムの蒸発潜熱による冷却を固体熱伝導して超伝導コイルを冷却する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクとを具備し、このヘリウムタンクは内部の液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えており、さらに、このヘリウムタンクの外表面と超伝導コイルとが固体熱伝導により熱交換するように配設されていることを特徴とする超伝導磁石装置。

【請求項2】 極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルと固体熱伝導により熱交換するように配設された液溜容器とを具備し、この液溜容器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記液溜容器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えていることを特徴とする超伝導磁石装置。

【請求項3】 極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルの周側面に熱交換チューブを巻装して構成された熱交換器とを具備し、この熱交換器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記熱交換器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えていることを特徴とする超伝導磁石装置。

【請求項4】 前記熱輻射シールド室を区画形成する熱輻射シールド板の表面にガス流通路を形成するガス冷却器を熱接触させて設け、このガス冷却器の入口側と前記ヘリウムタンクの上方部とを連通させ、このガス冷却器の出口を大気開放としたことを特徴とする請求項1乃至3の何れか1項に記載の超伝導磁石装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、超伝導磁石装置、特に極低温用冷凍機により超伝導コイルを冷却する冷凍機冷却型超伝導磁石に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来、極低温用冷凍機により超伝導コイルを冷却する冷凍機冷却型超伝導磁石装置としては、例えば、社団法人低温工学協会発行の「低温工学」第34

巻第5号（1999年5月20日発行）の第200頁「15 T冷凍機冷却型超伝導マグネットの開発」の項に開示されたものが知られている。これを図6および図7に基づき説明する。

【0003】 図6において、この冷凍機冷却型超伝導マグネット（冷凍機冷却型超伝導磁石装置）は、外部との熱伝導を避けるために真空にされた真空容器1内に、より一層断熱効果を高めるために熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室2を設け、この熱輻射シールド室2内にコイル巻棒3aに巻装された超伝導コイル3を収納している。また、4は、超伝導コイル3を冷却する極低温用冷凍機としてのGM冷凍機であって、このGM冷凍機4は、1段ステージ4a、2段ステージ4bを備えている。1段ステージ4aは、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板2を冷却している。一方、2段ステージ4bは、上下伝熱板（2段冷却フランジ）7、8を介し超伝導コイル3を上下部から冷却している。

【0004】 上記構成において、2段ステージ4bと上下伝熱板（2段冷却フランジ）7、8の間、並びに、上下伝熱板（2段冷却フランジ）7、8と超伝導コイル3との間はすべてボルトで締結されている。また、熱輻射シールド室2および上伝熱板（2段冷却フランジ）7は真空容器1の上部から3本のGFRP製荷重支持体9によって吊り下げられている。また、GM冷凍機4のモータ部4cは、超伝導コイル3から最も遠ざけた位置に、すなわち、真空容器1の外部に取り付けられている。なお、10は超伝導コイル3に電流を流すための電流供給端子であり、11は電流リードであり、12は真空容器1の上下から磁場発生空間へアクセスするための貫通型の常温ボアである。

【0005】 図7は、このように構成された冷凍機冷却型超伝導磁石装置における冷却開始から定常作動状態に至る過渡期の温度の変化を示すグラフで、曲線Aは、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板、電流リード11および荷重支持体9の温度であり、曲線Bはコイル巻棒3aを含む超伝導コイル3の温度である。なお、縦軸は温度、横軸は冷却開始からの経過時間である。この図に示されるように、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板、電流リード11および荷重支持体9の中間部分は45 K程度まで冷却され、コイル巻棒3aを含む超伝導コイル3は4 K程度まで冷却されている。なお、超伝導コイル3への通電はこの所定温度に到達した後に行われる。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、図7から分かるように、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板、電流リード11および荷重支持体9の中間部分の温度Aが約45 Kとなって安定するまでには、約18時間を要し、また、コイル巻棒3aを含む超

伝導コイル 3 の温度 B が約 4 K となって安定するまでには、約 110 時間必要としていた。したがって、超伝導コイル 3 に通電して定常運転させるには、5 日もの待機時間が必要となり、極めて無駄が多いという問題点があった。

【0007】この発明は、このような従来の技術に存在する問題点に着目してなされたものである。その目的とするところは、定常運転が可能となるまでの待機時間、つまり、超伝導コイルが所定温度に冷却されるまでの時間を短縮して、無駄がなく、運転コストを低減した超伝導磁石装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】この発明の第 1 の構成による超伝導磁石装置は、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルに前記極低温用冷凍機により得られる極低温の冷熱を伝達するための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクとを具備し、このヘリウムタンクは内部の液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えており、さらに、このヘリウムタンクの外表面と超伝導コイルとが固体熱伝導により熱交換するように配設されたものである。

【0009】この発明の第 2 の構成による超伝導磁石装置は、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルに前記極低温用冷凍機により得られる極低温の冷熱を伝達するための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルと固体熱伝導により熱交換するように配設された液溜容器とを具備し、この液溜容器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記液溜容器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えているものである。

【0010】この発明の第 3 の構成による超伝導磁石装置は、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルに前記極低温用冷凍機により得られる極低温の冷熱を伝達するための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルの周面に熱交換チューブを巻装して構成された熱交換器とを具備し、この熱交換器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記熱交換器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えているものである。

【0011】この発明の第 4 の構成による超伝導磁石装置は、前記熱輻射シールド室を区画形成する熱輻射シールド板の表面にガス流通路を形成するガス冷却器を熱接触させて設け、このガス冷却器の入口側と前記ヘリウムタンクの上方部とを連通させたものである。

【0012】

【発明の実施の形態】以下この発明の実施の形態について図面を参照しながら説明する。なお、従来のものと同一または共通する部分には同一の符号を付し、その説明を省略する。

【0013】実施の形態 1. 先ず、この発明の実施の形態 1 について説明する。図 1 はこの実施の形態 1 に係る超伝導磁石装置の全体構成説明図である。実施の形態 1 は、従来の冷凍機冷却型超伝導磁石において、熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室 2 と上伝熱板（2 段冷却フランジ）7 との間に液体ヘリウムを収容するためのヘリウムタンク 21 を設け、このヘリウムタンク 21 の底面とコイル巻棒 3 a に巻装された超伝導コイル 3 との間が固体熱伝導するように上伝熱板（2 段冷却フランジ）7 を介し熱接触させている。このヘリウムタンク 21 の上部には導管 22 a を介してガス放出口 22 が設けられている。液体ヘリウムはこのガス放出口 22 からヘリウムタンク 21 内に装填され、ヘリウムタンク 21 内に装填された液体ヘリウムは、気化してヘリウムタンク 21 自身を冷却して気化し、ヘリウムガスとなってこのガス放出口 22 から排出される。

【0014】以上のように構成された実施の形態 1 の超伝導磁石装置では、冷却運転開始時、ガス放出口 22 から液体ヘリウムをヘリウムタンク 21 内に装填する。これと同時に GM 冷凍機 4 を運転する。この GM 冷凍機 4 の運転により熱輻射シールド室 2 を区画形成する熱輻射シールド板が冷却され、熱輻射シールド板が冷却されることにより熱輻射シールド室 2 の熱輻射シールド効果が効率良く達成される。また、コイル巻棒 3 a を含め超伝導コイル 3 は、GM 冷凍機 4 の冷却作用により上下伝熱板（2 段冷却フランジ）7、8 を介して冷却される。また、ヘリウムタンク 21 内の液体ヘリウムが蒸発してヘリウムタンク 21 自身の温度が低下するが、ヘリウムタンク 21 と超伝導コイル 3 とは、上伝熱板（2 段冷却フランジ）7 を介して固体熱伝導により熱交換するように配設されているので、超伝導コイル 3 はこの低温のヘリウムタンク 21 との熱交換によっても冷却される。なお、このヘリウムタンク 21 から超伝導コイル 3 への固体熱伝導による伝熱量は、熱接触の面積に比例し熱伝導距離に反比例するが、この実施の形態 1 においては、GM 冷凍機 4 からの伝熱量と比較すると約 10 倍以上となる。

【0015】図 2 は、前記従来の超伝導磁石装置に係る図 7 と同様のものであって、本実施の形態 1 における冷却開始から定常作動状態に至る過渡期の温度の変化を示

すグラフである。なお、縦軸は温度、横軸は経過時間である。曲線Aは、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板、電流リード11および荷重支持体9の温度であり、曲線Bはコイル巻棒3aを含む超伝導コイル3の温度である。

【0016】本実施の形態1による超伝導磁石装置では、コイル巻棒3aを含め超伝導コイル3が上記のようにGM冷凍機4による冷却作用と液体ヘリウムの蒸発潜熱により冷却されたヘリウムタンク21の冷却作用とにより冷却されるため、上記図2に示すように、熱輻射シールド室2を区画形成する熱輻射シールド板、電流リード11および荷重支持体9の温度Aは冷却開始後10時間程度で約45Kで平衡し、コイル巻棒3aを含む超伝導コイル3の温度Cは24時間程度で約4Kに達するので、超伝導コイル3には冷却運転開始の翌日には通電が可能となる。

【0017】また、このように冷却されたヘリウムタンク21と超伝導コイル3とが固体熱伝導により熱交換し、超伝導コイル3が冷却されるように構成されているので、仮に超伝導コイル3の通電中に突発的な発熱や外部からの異常侵入熱が発生しても、液体ヘリウムタンク21が熱的バッファーとなって、これらの発熱や異常侵入熱を吸収することができる。したがって、冷却保持する極低温用冷凍機の冷凍能力は非通電の軽負荷時に相当する小容量のもので良く、システムが安価となる。

【0018】実施の形態2. 次に、この発明の実施の形態2について説明する。なお、図3は、実施の形態2による超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した構成説明図であるが、この説明図に実施の形態2の特徴部分が表されている。したがって、この実施の形態2については、図3に基づきこの点を中心に以下説明する。この実施の形態2では、ガス放出口22を上方に備えたヘリウムタンク21の下方に液溜容器31を配設し、この液溜容器31の上部とヘリウムタンク21の下部とを連絡管32により連通している。また、この液溜容器31は、超伝導コイル3の側面を圍繞して熱接触するように水平断面が環状をなす小容器に形成されている。なお、超伝導コイル3は、前記実施の形態1の場合と同様に、GM冷凍機4の2段ステージ4bにより冷却された上下伝熱板7、8により上下から冷却されるように構成されている。また、ヘリウムタンク21の側面部は上伝熱板7と熱接触しており、この伝熱板7とこの伝熱板7に熱接触する下伝熱板8とが、冷却されたヘリウムタンク21によっても冷却されるように構成されている。

【0019】したがって、この実施の形態2においては、超伝導コイル3の冷却は、この超伝導コイル3に熱接触するように配置された小容器である液溜容器31による冷却と、GM冷凍機およびヘリウムタンク21による上下伝熱板7、8を介した冷却とにより行われてい

る。

【0020】実施の形態2は上記のように構成されているので、超伝導コイル3が所定温度に冷却されるまでの時間は、グラフを以って図示しないが、前記実施の形態1の場合と同様に大幅に短縮することができる。また、この実施の形態2の場合は、ヘリウムタンク21と固体熱伝導により超伝導コイル3を冷却する液溜容器31とが連絡管32により連通されているので、ヘリウムタンク21を超伝導コイル3から離れた任意の位置に設置することができる。

【0021】実施の形態3. 次に、この発明の実施の形態3について説明する。図4は、実施の形態3による超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した説明図であるが、この説明図に実施の形態3の特徴部分が表されている。したがって、この実施の形態3については、図4に基づきこの点を中心に以下説明する。この実施の形態3では、熱交換チューブを超伝導コイル3の周側面に沿って螺旋状に巻回した構成の熱交換器41が、前記ヘリウムタンク21から離れた状態で設けられている。また、この熱交換器41の下端入口部とヘリウムタンク21の下部とが連絡管42により連通されるとともに、熱交換器41の上端出口部とヘリウムタンク21の上方部とが連絡管42により連通されている。これにより熱交換器41には連絡管42から液体ヘリウムが供給され、また、熱交換器41において超伝導コイル3を冷却して気化したヘリウムガスが連絡管43およびヘリウムタンク21内の上方空間部を経由しガス放出口22から外部へ放出するように構成されている。また、超伝導コイル3は、前記実施の形態1の場合と同様に、GM冷凍機4の2段ステージ4bにて冷却された上下伝熱板7、8により上下から冷却されるように構成されている。また、ヘリウムタンク21の側面部は上伝熱板7と熱接触しており、この伝熱板7と、この伝熱板7と熱接触する下伝熱板8とは冷却されたヘリウムタンク21によっても冷却されるように構成されている。

【0022】したがって、この実施の形態3においては、超伝導コイル3は、GM冷凍機4およびヘリウムタンク21により上下伝熱板7、8を介して冷却されるとともに、上記熱交換器41の冷却作用によっても冷却されている。

【0023】実施の形態3は上記のように構成されているので、超伝導コイル3が所定温度にまで冷却される時間は、グラフを以って図示しないが、前記実施の形態1の場合と同様に大幅に短縮することができる。また、この実施の形態3の場合は、ヘリウムタンク21と超伝導コイル3を固体熱伝導により冷却する熱交換器41とが連絡管42、43により連通されているので、ヘリウムタンク21を超伝導コイル3から離れた任意の位置に設置することができる。

【0024】実施の形態4. 次に、この発明の実施の形

態 4 について説明する。図 5 は、実施の形態 4 による超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した説明図であるが、この説明図に実施の形態 4 の特徴部分が表されている。したがって、この実施の形態 4 については、図 5 に基づきこの点を中心に以下説明する。この実施の形態 4 では、ヘリウムタンク 21 の底面を超伝導コイル 3 の上面との間で固体熱伝導するように上伝熱板（２段冷却フランジ）7 を介して熱接触させている。また、ヘリウムタンク 21 の側面をも上伝熱板 7 と熱接触するように配置している。さらに、熱輻射シールド室 2 を区画形成する熱輻射シールド板には、ガス流通路を形成するガス冷却管 51 が熱接触するように配置されている。また、このガス冷却管 51 は、一端部が連絡管 52 によりヘリウムタンク 21 の上方ガス部に連通され、他端部が連絡管 53 により大気へ開放されている。このため、ヘリウムタンク 21 内上方部の低温ヘリウムガスがガス冷却管 51 を通って排出される。この際に、熱輻射シールド室 22 を区画形成する熱輻射シールド板がガス冷却管 51 により冷却される。

【0025】したがって、このように構成された実施の形態 4 では、超伝導コイル 3 が、GM 冷凍機 4 と内部の液体ヘリウムの蒸発潜熱とにより冷却されたヘリウムタンク 21 とにより、上下伝熱板 7、8 を介し冷却される。また、熱輻射シールド室 2 を区画形成する熱輻射シールド板が、ヘリウムタンク 21 内から排出される低温ヘリウムガスが流通するガス冷却管 51 により冷却される。この結果、本実施の形態 4 では、実施の形態 1 の場合に比し熱輻射シールド室 2 を区画形成する熱輻射シールド板の冷却効果が向上して熱輻射シールド効果が向上するので、超伝導コイル 3 の冷却速度が早くなる効果がある。また、この冷却に使用される冷熱源は本来外部に排出されるヘリウムガスの排気冷熱であるので、冷却熱効率が向上し経済的である。

【0026】なお、この発明は、次のように変更して具体化することもできる。

（１） 実施の形態 1 における冷却運転開始初期の冷却方法として、液体ヘリウムの蒸発による冷却に代えて、安価な液体窒素の蒸発による冷却を用いてもよい。すなわち、冷却運転開始直前にはヘリウムタンク 21 内に液体ヘリウムに代わって安価な液体窒素を装填して、冷却運転開始初期の段階ではこの液体窒素の蒸発による冷却作用によりコイル巻枠 3a を含め超伝導コイル 3 を冷却し、適宜の時間を経過した後、ヘリウムタンク 21 内に液体ヘリウムを装填して、この液体ヘリウムの蒸発による冷却を行うようにすれば、さらに経費の節減を行うことができる。なお、実施の形態 2、3 および 4 においても、上記と同様に冷却初期の段階で液体ヘリウムに代えて液体窒素を利用することができる。

【0027】（２） 前述の実施の形態 1 では、ヘリウムタンク 21 からガス放出口 22 への導管 22a が熱輻

射シールド室 2 を貫通する部分において、この導管 22a と熱輻射シールド室 2 を区画形成する熱輻射シールド板とが熱伝導的に接合されていなかったが、この貫通部分において導管 22a と熱輻射シールド板とをハンダ付け等により熱伝導的に接合しても良い。また、このように構成れば、導管 22a により熱輻射シールド板が冷却されるので、熱輻射シールド室 2 の熱輻射シールド効果が向上し、超伝導コイル 3 の冷却速度をより一層早くすることができる。

【0028】（３） 実施の形態 4 におけるガス冷却管 51 は、他の実施の形態 1、2 および 3 に採用してもよく、このように構成すれば、それぞれの実施の形態における超伝導コイル 3 の冷却時間を早めることができる。

【0029】（４） 実施の形態 4 において、ヘリウムタンク 21 のガス放出口 22 に閉鎖弁を設け、この閉鎖弁を閉じることによりガス冷却管 51 を通じて大気へ流出させるヘリウムガス量を増大することができる。また、このようにすれば、熱輻射シールド板の冷却効果を更に向上させることができる。

【0030】

【発明の効果】本発明は以上のように構成されているため、次のような効果を奏する。この発明の第 1 の構成によれば、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクとを具備し、このヘリウムタンクは内部の液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えており、さらに、このヘリウムタンクの外表面と超伝導コイルとが固体熱伝導により熱交換するように配設されているので、超伝導コイルは極低温用冷凍機と液体ヘリウムの蒸発潜熱により冷却されたヘリウムタンクとにより冷却される。この結果、超伝導コイルの冷却熱源が極低温用冷凍機の場合と比較して、冷却開始から超伝導コイルが所定の低温度に達するまでの時間が大幅に短縮され、待機時間の短い、無駄のない超伝導磁石装置を得ることができる。また、超伝導コイルに通電中に突発的な発熱や外部からの異常侵入熱が発生した場合は、ヘリウムタンクが熱的バッファーとなってこれら発熱や異常侵入熱を吸収するので、冷却保持する極低温用冷凍機の冷凍能力は非通電の軽負荷時に相当する小容量のもので良く、システムが安価となる。

【0031】この発明の第 2 の構成によれば、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルと固体熱伝導により熱交

換するように配設された液溜容器とを具備し、この液溜容器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記液溜容器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えているので、超伝導コイルは極低温用冷凍機と液体ヘリウムの蒸発潜熱を利用して冷却作用を行う液溜容器とにより冷却される。この結果、超伝導コイルの冷却熱源が極低温用冷凍機の場合と比較して、冷却開始から超伝導コイルが所定の低温度に達するまでの時間が大幅に短縮され、待機時間の短い、無駄のない超伝導磁石装置を得ることができる。また、ヘリウムタンクは超伝導コイルから離れた適宜の位置に設置することができるので、これまで未利用だった空間を有効に利用することができる。

【0032】この発明の第3の構成によれば、極低温用冷凍機と、真空容器と、この真空容器内において熱輻射シールド板により区画形成された熱輻射シールド室と、この熱輻射シールド室内に配設された超伝導コイルと、この超伝導コイルと前記極低温用冷凍機との間の熱伝導を行うための伝熱板と、液体ヘリウムを収容するヘリウムタンクと、前記超伝導コイルの周側面に熱交換チューブを巻装して構成された熱交換器とを具備し、この熱交換器は前記ヘリウムタンクと連絡管により連通され、前記ヘリウムタンクは、このヘリウムタンクおよび前記熱交換器の内部に貯留された液体ヘリウムが気化したときのガス放出口を備えているので、超伝導コイルは極低温用冷凍機と液体ヘリウムの蒸発潜熱を利用して冷却作用を行う熱交換器とにより冷却される。この結果、超伝導コイルの冷却熱源が極低温用冷凍機の場合と比較して、冷却開始から超伝導コイルが所定の低温度に達するまでの時間が大幅に短縮され、待機時間の短い、無駄のない超伝導磁石装置を得ることができる。また、ヘリウムタンクは超伝導コイルから離れた適宜の位置に設置することができるので、これまで未利用だった空間を有効に利用することができる。

【0033】この発明の第4の構成によれば、前記熱輻射シールド室を区画形成する熱輻射シールド板の表面にガス流通路を形成するガス冷却器を熱接触させて設け、このガス冷却器の入口側と前記ヘリウムタンクの上方部とを連通させているので、熱輻射シールド板の初期冷却に要する時間がより短縮される。したがって、冷却開始

後、超伝導コイルが所定の低温度に達するまでの時間はより一層大幅に短縮され、待機時間のより短い、より無駄のない超伝導磁石装置を得ることができる。また、この冷却に使用される冷熱源は本来外部に排出される排気冷熱であるので経済的である。

【0034】この発明の第1～第4の各構成において、超伝導コイルがある程度の温度に冷却されるまでの初期段階では、液体ヘリウムに代わり液体窒素を用い、この液体窒素の蒸発潜熱により超伝導コイルを冷却し、その後、液体ヘリウムを使用してこの液体ヘリウムの蒸発潜熱により超伝導コイルを冷却するようにすれば、運転コストを低減することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 この発明の実施の形態1に係る超伝導磁石装置の全体構成説明図である。

【図2】 この発明の実施の形態1に係る超伝導磁石装置における各部の冷却運転開始時の温度変化を示すグラフである。

【図3】 この発明の実施の形態2に係る超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した構成説明図である。

【図4】 この発明の実施の形態3に係る超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した構成説明図である。

【図5】 この発明の実施の形態4に係る超伝導磁石装置の超伝導コイルとその冷却手段部分を模式的に示した構成説明図である。

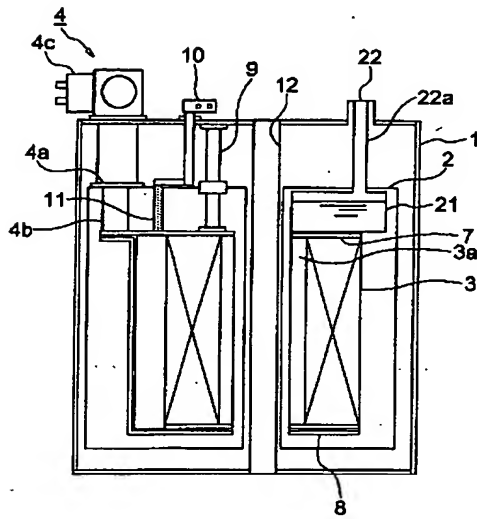
【図6】 従来の超伝導磁石装置の全体構造説明図である。

【図7】 従来の超伝導磁石装置における各部の冷却運転開始時の温度変化を示すグラフである。

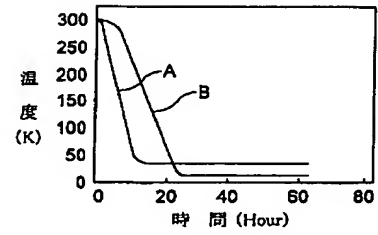
【符号の説明】

1…真空容器、2…熱輻射シールド室、3…超伝導コイル、4…極低温用冷凍機、7…上伝熱板、8…下伝熱板、21…ヘリウムタンク、22…ガス放出口、31…液溜容器、32…連絡管、41…熱交換器、42、43…連絡管、51…ガス冷却器、A…熱輻射シールド室を区画形成する熱輻射シールド板、電流リードおよび荷重支持体の温度、B…コイル巻枠を含む超伝導コイルの温度。

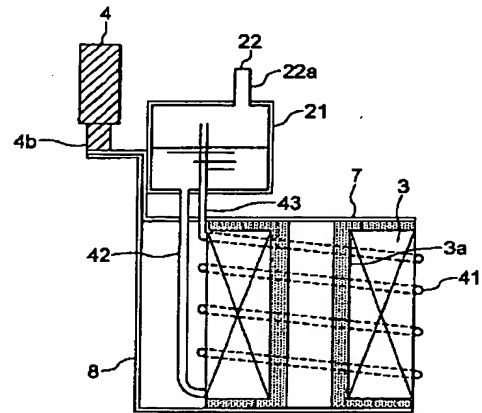
【図 1】



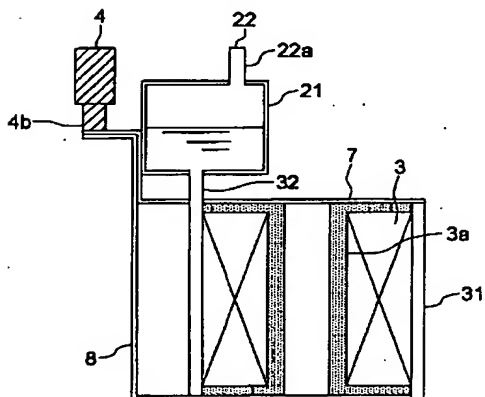
【図 2】



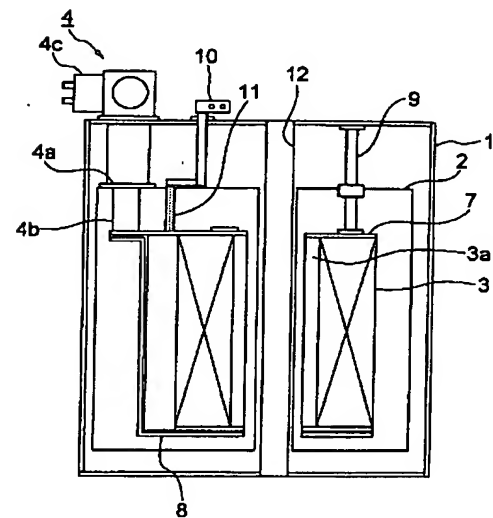
【図 4】



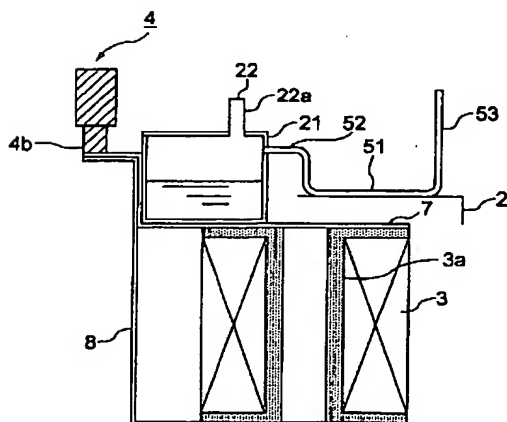
【図 3】



【図 6】



【図 5】



【図7】

